



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 184835

PENGARUH TEMPERATUR *ANNEALING SOLUTION TREATMENT* DENGAN *CRYOGENIC QUENCHING* PADA IMPLAN AISI 316L TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

ZULI AINUN ZARIYAH
NRP 02111440000086

Dosen Pembimbing
Fahmi Mubarak ST., MSc., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TM 184835

**PENGARUH TEMPERATUR *ANNEALING SOLUTION*
TREATMENT DENGAN *CRYOGENIC QUENCHING*
PADA IMPLAN AISI 316L TERHADAP KEKERASAN
DAN STRUKTUR MIKRO**

ZULI AINUN ZARIYAH
NRP 02111440000086

Dosen Pembimbing
Fahmi Mubarak ST., MSc., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - TM 184835

INFLUENCE OF ANNEALING SOLUTION TREATMENT TEMPERATURE WITH CRYOGENIC QUENCHING OF AISI 316L IMPLANT GRADE TOWARDS HARDNESS AND MICRO STRUCTURE

ZULI AINUN ZARIYAH
NRP 02111440000086

Advisor
Fahmi Mubarak ST., MSc., PhD

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

**PENGARUH TEMPERATUR ANNEALING SOLUTION
TREATMENT DENGAN CRYOGENIC QUENCHING IMPLAN
PADA AISI 316L TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR
MIKRO**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

ZULI AINUN ZARIYAH
NRP. 02111440000086

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Fahmi Mubarak, ST, MSc, PhD**
NIP. 197801152003121002 (Pembimbing)
2. **Dr. Eng. Sutikno, ST, MT**
NIP. 197407032000031001 (Penguji I)
3. **Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA**
NIP. 195012111985021001 (Penguji II)
4. **Ir. Hari Subiyanto, Msc.**
NIP. 196006231988031002 (Penguji III)

**SURABAYA
JANUARI, 2019**

**PENGARUH TEMPERATUR ANNEALING
SOLUTION TREATMENT DENGAN CRYOGENIC
QUENCHING PADA IMPLAN AISI 316L TERHADAP
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO**

Nama Mahasiswa : Zuli Ainun Zariyah
NRP : 02111440000086
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Fahmi Mubarak, ST.,MSc.,PhD

ABSTRAK

Departemen Kesehatan RI pada tahun 2013 mencatat sekitar 13 juta orang mengalami kejadian fraktur atau patah tulang di Indonesia. Patah tulang merupakan suatu kondisi dimana terjadi diskontinuitas tulang sehingga diperlukan tindakan medis untuk mengembalikan tulang yang patah ke posisi semula dan mencegah tulang bergeser. Salah satu tindakan yang sering dilakukan adalah pemasangan implan tulang dari bahan logam seperti stainless steel AISI 316L. Melihat tingginya kebutuhan implan logam AISI 316L, maka PT. Pelopor Teknologi Implantindo memproduksi implan lokal stainless steel AISI 316L menggunakan teknologi investment casting. Namun secara umum, produk yang dihasilkan masih memiliki kualitas di bawah implan produk impor karena perbedaan metode pembuatannya. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kualitas dari produk lokal dengan meningkatkan sifat mekaniknya.

Material implan stainless steel AISI 316L hasil investment casting di annealing solution treatment pada temperatur 1050° C, 1100° C, 1150° C dan 1200° C selama 2 jam. Kemudian didinginkan super cepat (cryogenic quenching) dengan liquid nitrogen yang memiliki suhu -177 C. Pengaruh temperatur annealing solution treatment terhadap hasil cryogenic quenching diamati dengan melihat nilai kekerasan material dan pengujian metalografi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan mengalami kenaikan pada seluruh material yang diberi perlakuan cryogenic quenching jika dibanding material hasil investment casting. Pada annealing solution treatment di temperatur 1150° C, diperoleh nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu 177,6 HV dibanding 144,5 HV pada material investment casting. Pada temperatur itu juga terjadi pengecilan rata-rata ukuran butiran menjadi 129,73 μm dibandingkan dengan rata-rata ukuran butiran hasil investment casting yaitu 216,98 μm . Dengan kenaikan kekerasan dan pengecilan ukuran butir, dapat dikatakan bahwa proses annealing solution treatment dengan cryogenic quenching dapat memperbaiki sifat mekanik AISI 316L.

Kata Kunci: Implan tulang stainless steel AISI 316L, investment casting, cryogenic quenching, annealing solution treatment

INFLUENCE OF ANNEALING SOLUTION TREATMENT TEMPERATURE WITH CRYOGENIC QUENCHING OF AISI 316L IMPLANT GRADE TOWARDS HARDNESS AND MICRO STRUCTURE

Name : Zuli Ainun Zariyah
NRP : 02111440000086
Departement : Mechanical Engineering
Advisor : Fahmi Mubarak, ST.,MSc.,PhD

ABSTRACT

The Indonesian Ministry of Health in 2013 reported that around 13 million Indonesians suffered bone fractures from different cases. Bone fracture is a condition where the bone discontinuity occurs and installation of medical device such as implant become necessary in order to return the bone into its original condition and keep the bone into their shape. Stainless steel AISI 316L is one of the impant material that is commonly used. Unfortunately, the majority of implant material in Indonesia were imported, thus PT. Pelopor Teknologi Implantindo develop local implant based on AISI 316L stainless steel implants using investment casting technology with local raw materials. Nevertheless, there is still a challenge since the local products is considered still have lower quality than the premium grade imported implants. Therefore, the aim of this research is to improve the quality of local implant using cryogenic quenching to improve their mechanical properties.

316L stainless steel implant material from investment casting was treated by heating up to annealing solution treatment temperature for 2 hours and then cryogenic quenched in liquid nitrogen. In this study, different temperature of 1050° C, 1100° C, 1150° C dan 1200° C are investigated and the effect of the annealing solution treatment temperature is observed through hardness value and microstructures change..

This research show that in general, the hardness of AISI 316L stainless steel material treated with cryogenic quenching is increased as compared with investment casting material. It is found that annealing temperature of 1150° C followed by cryogenic quenching resulted in the highest rise of hardness of 177,6 HV as compared with investment casting product of 144,5 HV hardness. This result also in correspondence with the grain size as the treated product have lower average size of 129,73 µm in comparison to 216,98 µm from investment casting products. Cryogenic quenching with annealing solution treatment improve mechanical properties by increasing the hardness and reduce grain size.

Keyword: orthopedic implant stainless steel AISI 316L, investment casting, cryogenic quenching, annealing solution treatment

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayahNya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PENGARUH TEMPERATUR *ANNEALING SOLUTION TREATMENT* DENGAN *CRYOGENIC QUENCHING* PADA IMPLAN AISI 316L TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO”**. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, Jama’adi dan Suliasih yang senantiasa selalu memberikan nasihat dan semangat yang sangat berarti;
2. Bapak Fahmi Mubarak ST., MSc., PhD sebagai dosen pembimbing yang telah membantu, mendorong, dan memberikan ilmu hingga terselesaikannya tugas akhir ini;
3. Bapak Dr. Eng. Sutikno, ST.,MT, Bapak Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA, Bapak Ir. Hari Subianto, MSc yang selaku dosen penguji tugas akhir. Terima kasih atas nasehat dan saran yang telah diberikan;
4. Karyawan laboratorium metalurgi teknik mesin ITS, sudah banyak membantu untuk proses tugas akhir penulis;
5. Keluarga laboratorium metalurgi terima kasih sudah pernah menghibur dan menemani penulis di laboratorium;
6. Segenap Keluargaku M57, semoga silaturahmi ini tetap terjaga dan semoga makin harmonis;
7. Seluruh Syarekat Merah Rakyat Merah terimakasih atas suasana kampus yang dinamis hingga membentuk pribadi yang lebih baik;
8. Teman-teman sepermainan (mbros, usi, nanda) yang selalu memberi motivasi dengan kata-kata pedasnya;

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak.....	iii
Abstract	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Biomaterial Logam	5
2.2 Baja Tahan Karat (<i>Stainless Steel</i>).....	6
2.3 Austenitik Stainless Steel 316L	7
2.4 Proses Investment Casting	8
2.5 Perlakuan Panas pada Austenitic Stainless Steel	11
2.6 Pengaruh Media Pendingin	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Diagram Alir Penelitian	15
3.2 Material	16
3.2.1 Material yang digunakan	16

3.2.2 Spesimen Uji	16
3.3 Peralatan	18
3.4 Langkah – Langkah Penelitian.....	19
3.4.1 Studi Literatur.....	19
3.4.2 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian	19
3.4.3 Pengambilan Data Awal Penelitian.....	20
3.4.4 Pengujian Metalografi	20
3.4.5 Pengujian Kekerasan	21
3.4.6 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM).....	21
3.4.7 Proses Cryogenic Quenching.....	21
3.5 Hasil Data Awal	21
3.5.1 Data awal pengujian metalografi	21
3.5.2 Data Awal Pengujian Kekerasan	24

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 27

4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia.....	27
4.2 Hasil Pengujian <i>Microhardness</i>	28
4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	33
4.3.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Spesimen Cryogenic Quenching Dengan Temperatur <i>Annealing Solution Treatment</i> 1050° C	33
4.3.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Spesimen <i>Cryogenic Quenching</i> Dengan Temperatur <i>Annealing Solution Treatment</i> 1100° C	35
4.3.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Spesimen <i>Cryogenic Quenching</i> Dengan Temperatur <i>Annealing Solution Treatment</i> 1150° C	36

4.3.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Spesimen <i>Cryogenic Quenching</i> Dengan Temperatur <i>Annealing</i> <i>Solution Treatment</i> 1200° C.....	38
4.3.5 Ringkasan Analisis Struktur Mikro	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	47

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Implan tulang	5
Gambar 2.2 Struktur mikro dendritik hasil <i>investment casting</i>	9
Gambar 2.3 Tahapan proses <i>investment casting</i> [8].....	9
Gambar 2.4 Diagram Fasa <i>Stainless steel</i> [15]	12
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	15
Gambar 3.2 <i>Stainless Steel</i> AISI 316L hasil dari proses <i>investment casting</i>	16
Gambar 3.3 <i>Stainless Steel</i> AISI 316L Produk Synthes	16
Gambar 3.4 Spesimen <i>Stainless Steel</i> AISI 316L hasil dari proses <i>investment casting</i> sebelum di <i>cryogenic quenching</i>	17
Gambar 3.5 Spesimen <i>Stainless Steel</i> AISI 316L Synthes.....	17
Gambar 3.6 Spesimen untuk <i>cryogenic quenching</i>	17
Gambar 3.7 Grinder – Polisher GRIPO 300-1V	18
Gambar 3.8 Tabung nitrogen cair	18
Gambar 3.9 <i>Olympus Stereo Microscope</i>	19
Gambar 3.10 <i>Scanning Electron Microscope</i>	19
Gambar 3.11 Struktur mikro <i>stainless steel</i> AISI 316L hasil <i>investment casting</i> sebelum di <i>cryogenic quenching</i> (a) perbesaran 100x dan (b) perbesaran 200x	22
Gambar 3.12 Struktur mikro <i>Stainless steel</i> AISI 316L produk Synthes (a) perbesaran 100x dan (b) perbesaran 200x.....	22
Gambar 3.13 Hasil pengujian SEM <i>stainless steel</i> AISI 316L hasil <i>investment casting</i> sebelum di <i>cryogenic quenching</i> dengan (a) perbesaran 500x dan (b) perbesaran 1000x	23
Gambar 3.14 (a). Hasil pengujian SEM <i>Stainless steel</i> AISI 316L produk Synthes dengan perbesaran 500x dan (b) perbesaran 1000x	23

Gambar 3.15 (a) Hasil indentasi <i>stainless steel</i> 316L hasil investment casting dan (b) Posisi Indentasi Pada Uji Microhardness <i>stainless steel</i> 316L hasil investment casting	24
Gambar 3.16 (a) Hasil indentasi <i>stainless steel</i> 316L merk Synthes dan (b) Posisi Indentasi Pada Uji Microhardness <i>stainless steel</i> 316L merk Synthes	25
Gambar 4.1 (a) Hasil indentasi spesimen <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1050° C dan (b) Posisi indentasi spesimen <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1050° C	29
Gambar 4.2 (a) Hasil indentasi spesimen <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1100° C dan (b) Posisi indentasi spesimen <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1100° C	29
Gambar 4.3 (a) Hasil indentasi spesimen <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1150° C dan (b) Posisi indentasi spesimen <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1150° C	30
Gambar 4.4 (a) Hasil indentasi spesimen <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1200° C dan (b) Posisi indentasi spesimen <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1200° C	30
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Hasil Kekerasan <i>Stainless Steel</i> AISI 316L Hasil <i>Investment casting</i> , <i>Cryogenic quenching</i> dan <i>Stainless Steel</i> AISI 316L Merk Synthes	32
Gambar 4.6 Mikrostruktur pada <i>stainless steel</i> AISI 316L <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1050° C perbesaran (a) 100x dan (b) 200x.....	34
Gambar 4.7 (a). Hasil pengujian SEM <i>Stainless steel</i> AISI 316L <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1050° C perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x.....	34

Gambar 4.8 Mikrostruktur pada <i>stainless steel</i> AISI 316L <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution</i> <i>treatment</i> 1100° C perbesaran (a) 100x dan (b) 200x.....	35
Gambar 4.9 Hasil pengujian SEM <i>Stainless steel</i> AISI 316L <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution</i> <i>treatment</i> 1100° C perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x.....	36
Gambar 4.10 Mikrostruktur pada <i>stainless steel</i> 316L <i>cryogenic</i> <i>quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution treatment</i> 1150° C perbesaran (a) 100x dan (b) 200x	37
Gambar 4.11 (a). Hasil pengujian SEM <i>Stainless steel</i> AISI 316L <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution</i> <i>treatment</i> 1150° C perbesaran (s) 500x dan (b) 1000x	37
Gambar 4.12 Mikrostruktur pada <i>stainless steel</i> AISI 316L <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution</i> <i>treatment</i> 1200° C perbesaran (a) 100x dan (b) 200x.....	38
Gambar 4.13 (a). Hasil pengujian SEM <i>Stainless steel</i> AISI 316L <i>cryogenic quenching</i> dengan temperatur <i>annealing solution</i> <i>treatment</i> 1150° C perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x.....	39
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Hasil Ukuran Butir pada <i>Stainless Steel</i> AISI 316L Hasil <i>Investment casting</i> , <i>Cryogenic</i> <i>quenching</i> dan <i>Stainless Steel</i> AISI 316L Merk Synthes	40

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia <i>Stainless Steel Implan Quality</i> (ASTM F138-13a).....	7
Tabel 3.1 Data Awal Pengujian Kekerasan Hasil <i>Investment Casting</i>	24
Tabel 3.2 Data awal hasil pengujian kekerasan merk Synthes.....	26
Tabel 4.1 Tabel 4.1 Komposisi Kimia Hasil Uji <i>Spectrometer</i>	28
Tabel 4.2 Hasil Uji <i>Micro Vickers Hardness Cryogenic Quenching</i> Dengan Temperatur <i>Annealing Solution Treatment</i> 1050° C, 1100° C, 1150° C dan 1200° C	31

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut data Departemen Kesehatan Republik Indonesia dan *World Health Organization* (WHO), kasus patah tulang yang terjadi di Indonesia cukup besar. Departemen Kesehatan RI pada tahun 2013 mencatat sekitar 13 juta orang mengalami kejadian fraktur atau patah tulang dengan penyebab yang berbeda-beda. Penyebab paling umum kejadian patah tulang adalah kecelakaan, baik itu kecelakaan kerja maupun kecelakaan lalu lintas. Hal ini juga tercatat oleh *World Health Organization* (WHO) dimana pada tahun 2011-2012 terdapat 1,3 juta penderita patah tulang akibat kecelakaan lalu lintas [6]. Patah tulang merupakan suatu kondisi dimana terjadi diskontinuitas tulang sehingga diperlukan tindakan medis. Salah satu tindakan yang dilakukan untuk patah tulang adalah dengan melakukan pemasangan implan tulang. Implan tulang merupakan salah satu teknologi biomaterial yang sering digunakan pada bedah ortopedik. Salah satu material yang umum digunakan sebagai material implan tulang adalah *Stainless Steel* AISI 316L. *Stainless steel* AISI 316L merupakan baja tahan karat austenitik yang memiliki keunggulan pada ketahanan korosi dan sifat mekanik. Untuk standar medis, material ini dibuat dengan mengikuti standard ASTM F138.

Dalam memenuhi kebutuhan implan tulang, hampir 90% produk implan tulang yang beredar di Indonesia di impor dari negara lain. Hal ini sangat memprihatinkan mengingat Indonesia memiliki kemampuan untuk mengembangkan implan jenis *stainless steel* AISI 316L. PT Pelopor Teknologi Implantindo di Mojokerto adalah salah satu industri yang sangat konsen dengan kondisi tersebut sehingga mereka mengembangkan implan AISI 316L dengan bahan baku lokal. Teknologi yang dipilih adalah *investment casting* karena kemudahan untuk membuat *near net shape* produk dari bahan baku yang dicairkan. Sayangnya implan tulang lokal buatan Indonesia dari hasil proses *investment casting*

masih memiliki kualitas lebih rendah dibanding implan tulang premium dari Eropa.

Untuk meningkatkan kualitas implan tulang Indonesia hasil *investment casting* yang umumnya memiliki struktur mikro dendritik, maka dapat dilakukan proses rekristalisasi melalui perlakuan panas agar diperoleh butiran-butiran yang lebih halus sehingga diperoleh sifat mekanik yang lebih baik. Namun AISI 316L memiliki fasa austenit yang stabil sampai temperatur kamar sehingga proses perlakuan panas secara umum tidak dapat dilakukan karena tidak ada transformasi fasa yang terjadi pada saat pemanasan.

Austenitic stainless steel dapat diberi perlakuan panas pada temperatur diatas 1045°C yang umum disebut *annealing solution treatment* dan bertujuan untuk menaikkan keuletan dan membuat presipitasi karbida pada batas butir dapat larut kembali ke butir sehingga mencegah efek sensitisasi. Setelah proses *annealing solution treatment* ini *austenitic stainless steel* AISI 316L dapat didinginkan super cepat (*cryogenic quenching*) dengan *liquid nitrogen* dengan harapan dapat menaikkan sifat mekanik dari material *stainless steel* AISI 316 L hasil *investment casting*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah: Bagaimana pengaruh temperatur *annealing solution treatment* dengan *cryogenic quenching* pada implan *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting* terhadap sifat mekanik berupa nilai kekerasan dan struktur mikro?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh temperatur *annealing solution treatment* dengan *cryogenic quenching* pada implan *stainless steel* AISI 316L

hasil *investment casting* terhadap sifat mekanik berupa nilai kekerasan dan struktur mikro.

1.4 Batasan Masalah

Supaya pembahasan dalam permasalahan pada penelitian ini dapat lebih difokuskan, maka diperlukan batasan-batasan dan asumsi sebagai berikut.

1. Cacat pada material hasil *investment casting stainless steel* 316 L berupa makro dan mikro *porosity* diasumsikan tidak berpengaruh secara signifikan.
2. Media pendinginan menggunakan nitrogen cair dengan temperatur -177 C.
3. Pengaruh *annealing solution treatment* terhadap sifat mekanik diamati dari perubahan kekerasan dan pegamatan metalografi.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi beberapa pihak, antara lain:

1. Bagi perusahaan implan nasional, penelitian perlakuan *cryogenic quenching* diharapkan dapat membantu untuk meningkatkan kualitas produk hasil *investment casting* agar bisa setara dengan produk luar negeri.
2. Bagi peneliti, dapat menambah manfaat dan wawasan tentang penelitian ini.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II DASAR TEORI

2.1 Biomaterial Logam

Biomaterial merupakan bahan yang umum digunakan di dunia medis. Salah satu aplikasi biomaterial adalah implan tulang berupa *broad plate* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Implan tulang dari logam digunakan sebagai penyangga bagian tulang yang patah sehingga dapat memicu penyambungan tulang yang patah secara maksimal. Biomaterial memiliki sifat biokompatibilitas yaitu kemampuan suatu material untuk bekerja selaras dengan tubuh tanpa menimbulkan efek lain yang berbahaya. [1]



Gambar 2.1 Implan tulang

Logam *stainless steel* banyak digunakan sebagai material implan karena memiliki beberapa kelebihan yaitu kekuatan yang tinggi (*strength*), keuletan dan ketangguhan yang relatif tinggi, memiliki ketahanan terhadap korosi yang tinggi dan ketahanan aus yang tinggi

Ketahanan korosi sangat penting sebagai syarat mekanis pembuatan implan tulang, karena jika terjadi korosi pada implan yang terdapat didalam tubuh akan menimbulkan resiko bagi pasien. Selain itu logam yang digunakan sebagai material implan harus memiliki ketahanan aus yang tinggi. Hal ini bertujuan untuk menghindari iritasi atau alergi akibat partikel kecil logam yang dihasilkan dari gesekan antar komponen implan. Sifat mekanik logam ini tidak hanya ditentukan oleh jenis logam tetapi juga dipengaruhi proses pembuatan logam. Pengerjaan logam seperti

pengerjaan dingin, pengerjaan panas, forging maupun rolling dapat menghasilkan deformasi sehingga menjadikan logam semakin kuat dan semakin keras.

2.2 Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Logam yang banyak digunakan sebagai material implan adalah baja tahan karat yang biasa dikenal dengan sebutan *stainless steel*. *Stainless steel* merupakan baja paduan dengan kadar paduan tinggi (*high alloy steel*). *Stainless steel* memiliki sifat yang tidak mudah terkorosi seperti logam baja yang lain. *Stainless steel* berbeda dengan baja biasa dari kandungan kromnya. Kandungan *chromium* (Cr) yang ada pada *stainless steel* ini minimum sebesar 10.5%. Semakin tinggi kadar *Chrom*, maka ketahanan korosinya juga semakin tinggi. Selain itu sifat tahan korosi bergantung pada kestabilan lapisan oksidanya. *Stainless steel* mempunyai kemampuan untuk membentuk lapisan oksida yang sangat stabil dan melekat pada permukaan sehingga melindungi baja terhadap lingkungan korosif. *Stainless steel* juga memiliki banyak sekali manfaat antara lain [9]:

- Tahan panas dan api, karena campuran dari paduan kromium dan nikel melindungi kekuatan *stainless steel* dari temperatur tinggi.
- *Stainless steel* mudah dibersihkan sehingga banyak digunakan pada alat yang berhubungan dengan kesehatan.
- Hambatan korosi tinggi, *stainless steel* memiliki ketahanan korosi tinggi di atmosfir maupun di dalam lingkungan air.
- Penampilan baik, lapisan terang yang ada pada *stainless steel* membuat perawatannya lebih mudah.
- Sifat keras yang ada pada *stainless steel* sangat bagus pada pengerjaan dingin dan bentuk yang tipis.
- Mudah fabrikasi, dengan pembuatan modern pada baja *stainless steel* dapat mudah di las, dipotong, maupun dibentuk.
- Tahan *impact*, dengan keuletan yang dimiliki *stainless steel* membuat baja ini mampu dipukul.

Ada berbagai macam jenis dari *stainless steel*. Jika dibedakan menurut struktur mikronya, *stainless steel* dibagi menjadi tiga yaitu *martensitic stainless steel*, *ferritic stainless steel*, dan *austenitic stainless steel*. [10]

2.3 Austenitik Stainless Steel 316L

Pada baja tahan karat austenitik memiliki unsur utama paduan yaitu *chromium* dan *nikel*. Jumlah kadar *Chrom* yang ada pada baja ini umumnya adalah sebesar 16% sampai dengan 20% dan kadar nikel sebesar 13% sampai dengan 15%. Jumlah kadar *chromium* berpengaruh pada ketahanan korosi karena *chromium* berfungsi untuk meningkatkan kestabilan oksida pada permukaan. Semakin tinggi kadar *chromium*, maka ketahanan korosinya semakin tinggi. Hal ini membuat baja tahan karat austenitik memiliki sifat tahan korosi yang paling baik diantara baja tahan karat martensitik dan ferritik. Serta pada temperatur yang tinggi kekuatannya sangat baik.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia *Stainless Steel Implan Quality* (ASTM F138-13a)

Element	Composition, % (mass/mass)
Carbon	0.03 max
Manganese	2.00 max
Phosphorous	0.025 max
Sulfur	0.010 max
Silicon	0.75 max
Chromium	17.00 to 19.00
Nickel	13.00 to 15.00
Molybdenum	2.25 to 3.00
Nitrogen	0.10 max
Copper	0.05 max
Iron	Balance

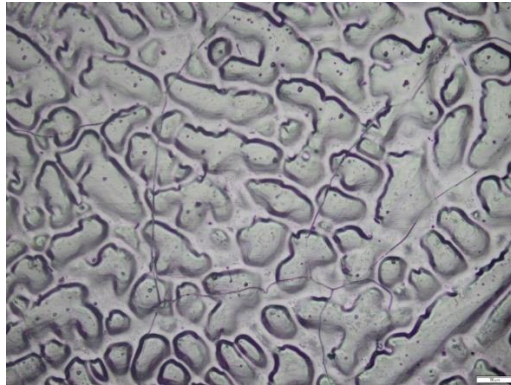
Dengan ketahanan korosi yang tinggi, *austenitic stainless steel* banyak digunakan sebagai material implan tulang. Jenis

austenitic stainless steel yang umum digunakan adalah *stainless steel* 316L. *Stainless steel* tipe 316L merupakan salah satu material teknik yang digunakan sebagai biomaterial terutama untuk aplikasi implan tulang [5]. Komposisi kimia *austenitic stainless steel* 316L standar biomedis sesuai dengan standar ASTM F138-13a ditunjukkan pada tabel 2.1.

Stainless steel 316 L dibuat dengan kadar karbon rendah untuk menaikkan ketahanan korosi. Karakteristik pada material tipe 316L antara lain ketahanan creep yang tinggi, mudah dibentuk, dapat dilaku panas maupun dingin, memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan tahan terhadap korosi. Pada umumnya *stainless steel* tipe 316L sering digunakan pada industri kimia, instrument industri tekstil, makanan dan minuman, farmasi maupun medis.[11]

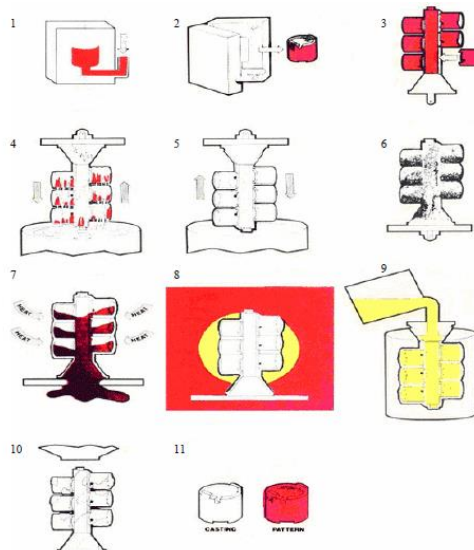
2.4 Proses Investment Casting

Investment casting atau biasa dikenal sebagai *lost wax process* merupakan salah satu jenis teknologi pengecoran presisi yang dapat menghasilkan produk coran yang memiliki dimensi presisi dan bentuk geometri yang rumit, seperti kemiringan, kelengkungan dan kehalusan permukaan produk coran. Pengontrolan kekasaran permukaan pada produk hasil *investment casting* terlepas dari komposisi paduan logam tetapi dengan mengkaji ulang parameter temperatur tuang. Permukaan yang halus terjadi akibat logam yang memiliki daerah beku yang sempit, sedangkan permukaan yang kasar akibat logam yang memiliki daerah beku yang lebar [7]. Proses *investment casting* menghasilkan struktur yang tidak homogen, disebabkan karena pendinginan yang tidak equilibrium. Hal ini menyebabkan struktur mikro yang dendritik seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur mikro dendritik hasil *investment casting*

Metode *investment casting* sudah banyak digunakan di dunia kesehatan seperti pembuatan implan tulang. Tahap – tahap proses pengecoran yang dilakukan pada metode ini dapat di lihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tahapan proses *investment casting* [8]

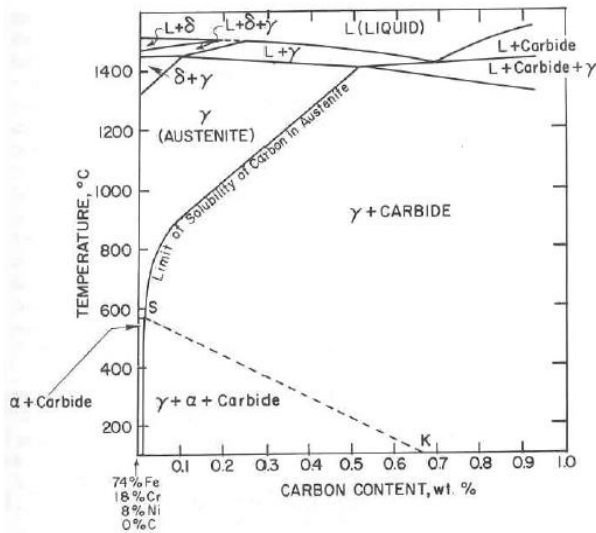
1. Pembuatan pola, pembuatan pola ini menggunakan bahan lilin yang dicetak sesuai bentuk yang dibutuhkan dengan cetakan logam.
2. Pembuatan sistem saluran, sistem saluran ini sebagai jalan masuk atau saluran bagi logam cair yang dituangkan. Bahan yang digunakan untuk pembuatan sistem saluran dibuat dengan bahan yang sama dengan pembuatan pola. Sistem saluran dari proses pengecoran ada beberapa bagian, yaitu:
 - Cawan tuang
Biasanya berbentuk seperti corong atau cawan dengan saluran turun dibawahnya. Cawan tuang ini digunakan sebagai tempat penerima logam cair dan penyaring kotoran dari logam cair.
 - Saluran turun (*sprue*)
Saluran turun dibuat lurus dan tegak dengan irisan berupa lingkaran. Saluran ini yang pertama membawa cairan logam dari cawan ke dalam pengalir dan saluran masuk.
 - Saluran turun dasar (*sprue base*)
Merupakan pelebaran pada bagian bawah dari saluran turun.
 - Pengalir (*Runner*)
Berfungsi untuk membawa cairan logam dari saluran turun ke bagian – bagian yang telah disesuaikan dengan cetakan.
 - Saluran masuk (*Ingate*)
Merupakan saluran pendek yang menghubungkan antara pengalir dan rongga cetakan. Fungsi dari saluran masuk adalah mengisikan cairan logam dari saluran pengalir ke dalam rongga cetakan.
3. Pola dan sistem saluran dirangkai menjadi satu agar dalam sekali pengecoran didapatkan banyak produk.
4. Pola yang telah digabung dengan sistem saluran dicelupkan kedalam ceramic slurry.

5. Pola diberi taburan partikel – partikel keramik kasar.
6. Kemudian ditunggu hingga kering dan mengeras.
7. Proses pemanasan, proses ini dilakukan dengan meletakkan rangkaian pola dengan posisi terbalik, hal ini bertujuan untuk melelehkan lilin dan lilin akan keluar mengalir ke bawah sehingga terbentuk cetakan dari keramik.
8. Pola keramik dibakar untuk menghilangkan kelembapan.
9. Proses pengecoran, yaitu dengan menuangkan cairan logam ke dalam rongga cetakan.
10. Setelah cairan logam membeku, cetakan dipecah untuk mengambil hasil coran. [8]

2.5 Perlakuan Panas pada Austenitic Stainless Steel

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan proses kombinasi antara pemanasan atau pendinginan pada suatu logam maupun paduan pada kondisi padat untuk memperoleh sifat tertentu. Tujuan dilakukannya *heat treatment* ini antara lain untuk meningkatkan keuletan dan kekerasan, menghilangkan tegangan internal serta menghaluskan ukuran butir kristal. Proses *heat treatment* pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pertama dilakukan pemanasan terlebih dahulu sampai temperatur tertentu, kemudian diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, setelah itu dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu. [14]

Proses *heat treatment* pada *austenitic stainless steel* sama dengan paduan nonferrous dimana tidak bisa di *heat treatment* dengan teknik yang digunakan pada baja karbon biasa. Hal ini disebabkan pada *austenitic stainless steel* tidak mengalami transformasi fasa karena memiliki fasa austenit yang stabil, sehingga material ini hanya bisa di *heat treatment* dengan teknik *hardening precipitation* yaitu pengerasan melalui partikel endapan fasa yang halus dan menyebar. [12]



Gambar 2.4 Diagram Fasa *Stainless steel* [15]

Gambar 2.4 diatas menunjukkan perubahan fasa yang terjadi pada material *stainless steel* jika dipanaskan pada temperatur tertentu. Selain itu dapat diketahui masih adanya karbida yang dapat mempengaruhi ketahanan korosi pada material. Jika kelarutan austenit turun, menyebabkan karbon keluar dan bersenyawa dengan kromium sehingga terbentuk karbida krom. Terbentuknya karbida yang halus memberikan penguatan dan pengerasan, sedangkan jika terbentuk presipitasi karbida kasar dapat menyebabkan korosi. Hal ini akan mempengaruhi sifat mekanik pada material *austenitic stainless steel* tersebut.

2.6 Pengaruh Media Pendingin

Media pendingin yang digunakan pada proses pendinginan dapat mempengaruhi laju pendinginan. Semakin tinggi laju pendinginan, maka kekerasan yang diperoleh juga semakin tinggi. Berbagai media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain [4]:

a. Air

Air sering digunakan sebagai media pendingin karena mudah didapat. Air efektif menghancurkan kerak dari permukaan logam yang baru dikeluarkan dari tungku pemanasan. Pendinginan dengan media air memberikan daya pendinginan yang cukup cepat. Biasanya garam dapur dilarutkan kedalam air untuk mempercepat turunnya temperatur sehingga mengakibatkan material menjadi keras.

b. Minyak

Minyak sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas karena dapat memberikan lapisan karbon pada permukaan benda kerja. Jenis minyak yang biasa digunakan adalah oli. Laju pendinginan yang dihasilkan oleh oli lebih rendah dibandingkan dengan air biasa ataupun air garam.

c. Udara

Pendinginan dengan media udara digunakan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Pendinginan udara akan membuat logam untuk membentuk kristal-kristal.

d. *Salt Bath*

Salt bath (garam yang dilelehkan) dijadikan sebagai media pendingin dalam perlakuan panas karena garam memiliki sifat mendinginkan yang cepat dan teratur. Biasanya *salt bath* merupakan campuran dari beberapa garam, antara lain sodium nitrit dan potassium nitrite dengan komposisi tergantung pada temperatur kerja yang diinginkan.

e. Kapur

Kapur yang digunakan sebagai media pendingin adalah kapur non hidrolik dengan kadar kalsium monoksida yang tinggi jika belum berhubungan dengan air atau mengandung banyak kalsium hidroksida jika direndam dengan air.

f. *Liquid Nitrogen*

Nitrogen cair atau sering disebut LN2 adalah media pendingin yang biasa digunakan pada *cryogenic treatment*.

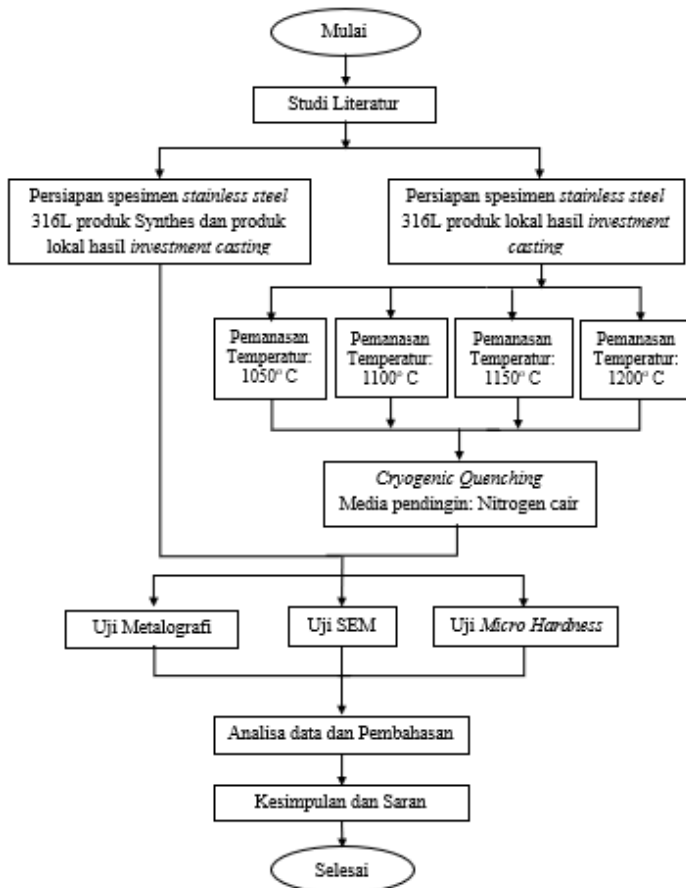
Nitrogen cair memiliki temperatur yang sangat rendah dibanding dengan media pendingin lain yaitu di bawah -150°C .

Mohd Touseef, dkk (2012) melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik dari material *stainless steel 316L* setelah di *cryogenic treatment*. *Cryogenic treatment* ini menggunakan nitrogen cair. Proses dilakukan dengan mengalirkan nitrogen cair ke spesimen selama 1 jam hingga spesimen mencapai temperatur -186°C . Kemudian spesimen dibiarkan selama 16 jam sampai temperatur kembali ke temperatur kamar. Setelah di *treatment* dilakukan pengujian *tensile* untuk mengetahui kekuatan tarik dan *yield strength*, *impact* untuk mengetahui ketangguhan, *Rockwell* untuk mengetahui kekerasannya dan analisa mikrostruktur. Pada penelitian *cryogenic treatment* ini diperoleh hasil bahwa terjadi kenaikan kekuatan yaitu dari $877,49\text{ N/mm}^2$ menjadi $897,92\text{ N/mm}^2$ dan kekerasan sebesar 49 HRC menjadi 56,33 HRC.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini secara singkat dapat digambarkan melalui diagram alir penelitian seperti dibawah ini :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

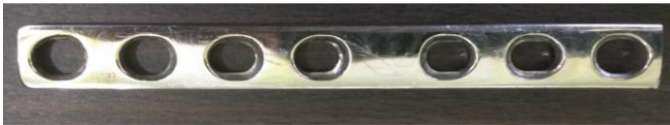
3.2 Material

3.2.1 Material yang digunakan

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *Stainless Steel* AISI 316L. Ada dua macam yaitu *Stainless Steel* AISI 316L hasil dari proses *investment casting* yang akan di *cryogenic quenching* (ditunjukkan pada gambar 3.2) dan material *Stainless Steel* AISI 316L *Synthes* sebagai pembanding (ditunjukkan pada gambar 3.3).



Gambar 3.2 *Stainless Steel* AISI 316L hasil dari proses *investment casting*

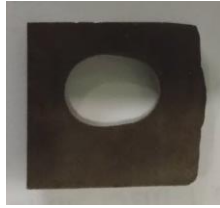


Gambar 3.3 *Stainless Steel* AISI 316L Produk *Synthes*

3.2.2 Spesimen Uji

Sebelum melakukan uji metalografi dan SEM, material dipotong terlebih dahulu menjadi lebih kecil agar mudah ketika dilakukan pengujian. Spesimen dipotong seperti gambar berikut:

Gambar 3.4 adalah spesimen *Stainless Steel* AISI 316L hasil dari proses *investment casting* sebelum di *annealing solution treatment*. Spesimen ini memiliki panjang 17,56 mm dan lebar sebesar 16,47 mm.



Gambar 3.4 Spesimen *Stainless Steel* AISI 316L hasil dari proses *investment casting* sebelum di *cryogenic quenching*

Gambar 3.5 adalah spesimen *Stainless Steel* AISI 316L produk Synthes. Spesimen ini memiliki panjang 13,65 mm dan lebar sebesar 12,07 mm



Gambar 3.5 Spesimen *Stainless Steel* AISI 316L Synthes

Gambar 3.6 adalah spesimen untuk proses *annealing solution treatment*, material *Stainless Steel* AISI 316L hasil dari proses *investment casting* yang sebelumnya panjang dipotong menjadi bentuk yang kecil sebelum proses pemanasan. Berikut bentuk spesimen yang di *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050°C, 1100°C, 1150°C dan 1200°C.



Gambar 3.6 Spesimen untuk *cryogenic quenching*

3.3 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain

1. Penggaris dan jangka sorong
2. Kamera digital
3. Mesin *Wire Cut*
4. Grinder – Polisher GRIPO 300-1V



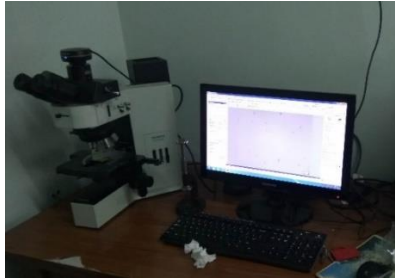
Gambar 3.7 Grinder – Polisher GRIPO 300-1V

5. Tabung nitrogen cair



Gambar 3.8 Tabung nitrogen cair

6. Tungku pemanasan
7. Mesin Vickers Microhardness
8. *Olympus Stereo Microscope*



Gambar 3.9 *Olympus Stereo Microscope*

9. *Scanning Electron Microscope*



Gambar 3.10 *Scanning Electron Microscope*

3.4 Langkah – Langkah Penelitian

3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh teori – teori yang berhubungan dengan *cryogenic quenching* dan pengaruhnya pada material Stainless Steel 316L yang didapatkan dari jurnal, artikel dan buku terkait.

3.4.2 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Perumusan masalah dan tujuan penelitian ini merupakan tahap untuk menentukan tujuan dari penelitian yang akan

dilakukan. Adapun tujuan tersebut adalah mengetahui pengaruh cryogenic quenching pada material *Stainless Steel* 316L hasil proses *investment casting* terhadap sifat kekerasan.

3.4.3 Pengambilan Data Awal Penelitian

Pengambilan data awal digunakan sebagai acuan dilakukannya proses *cryogenic quenching*. Pengambilan data awal dilakukan dengan mengetahui struktur mikro dan kekerasan dari material *Stainless Steel* 316L hasil dari proses *investment casting* dan material *Stainless Steel* 316L *Synthes*.

3.4.4 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro pada material. Pengujian ini dilakukan sebelum dan sesudah eksperimen. Pada pengujian sebelum eksperimen, material yang digunakan adalah *Stainless Steel* 316L hasil dari proses *investment casting* dan *Stainless Steel* 316L *Synthes*. Dan material yang diuji setelah eksperimen adalah *Stainless Steel* 316L hasil dari proses *investment casting* yang sudah di *cryogenic quenching*.

Pengujian metalografi diawali dengan beberapa tahapan, yaitu pertama material dipotong menjadi bentuk yang kecil. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan mesin *wire cut*. Kemudian dilakukan proses *mounting* pada material uji. Mounting ini menggunakan resin dan hardener. Setelah dimounting material uji di grinding menggunakan kertas gosok dengan grid 80, 150, 320, 500, 800, 1000, dan 2000 pada mesin grinding yang dialiri air. Material uji digrinding dengan menggunakan grid yang paling kasar terlebih dahulu hingga terbentuk goresan yang sejajar dan merata. Peletakan material uji pada setiap grid berbeda yaitu material uji digosok dengan mengubah arah peletakan sebesar 90⁰ dari awal peletakan, sehingga goresan baru akan terbentuk. Selanjutnya material uji di poles dengan menggunakan kain bludru dan autosol hingga material bebas dari goresan dan terlihat mengkilap. Setelah dipoles material uji di etsa menggunakan campuran HNO₃ (10 ml), HCL (20 ml), dan Glycerol (20 ml).

Kemudian material uji diamati struktur mikro dengan *Olympus stereo microscope* dengan perbesaran 100 hingga 500.

3.4.5 Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan ini menggunakan mesin Vickers microhardness. Beban uji pada pengujian kekerasan mikro Vickers adalah antara 1 gram hingga 1000 gram. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan pada material *Stainless Steel 316L* hasil dari proses *investment casting* dan *Stainless Steel 316L Synthes*. Permukaan material uji pada pengujian kekerasan mikro Vickers harus rata dan halus agar diperoleh akurasi pengujian yang tinggi.

3.4.6 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM dilakukan menggunakan mikroskop electron untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi yaitu informasi mengenai susunan butir-butir yang ada dalam material. Selain itu digunakan untuk mengetahui morfologi yaitu ukuran dari partikel penyusun, dan topografi.

3.4.7 Proses Cryogenic Quenching

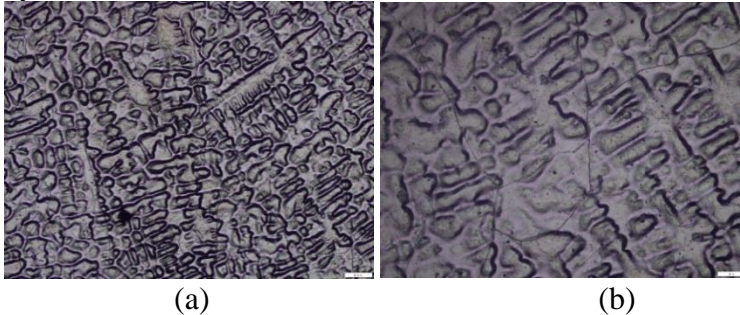
Cryogenic quenching adalah proses laku panas yang dilakukan terhadap logam atau paduan dengan proses pendinginan cepat pada temperatur dibawah -150°C . Media pendingin yang digunakan pada proses ini yaitu nitrogen cair. Pertama yang dilakukan adalah material *Stainless Steel 316L* hasil dari proses *investment casting* di *annealing solution treatment* dalam tungku pada temperatur 1050°C , 1100°C , 1150°C dan 1200°C . Waktu *annealing* pada proses ini dilakukan selama 2 jam. Setelah dilakukan *annealing solution treatment* material didinginkan secara cepat dengan menggunakan nitrogen cair.

3.5 Hasil Data Awal

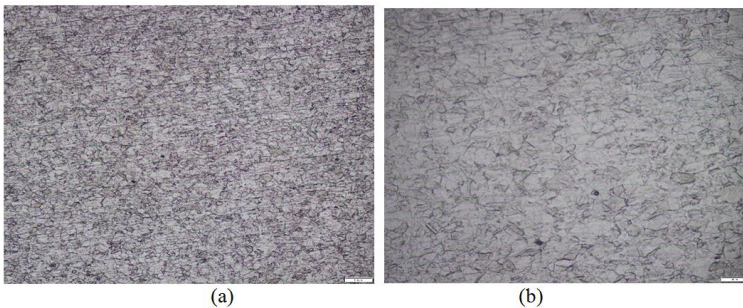
3.5.1 Data awal pengujian metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui strukturmikro dari material *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting* sebelum di *cryogenic quenching* dan material

stainless steel merk Synthes. Pengujian menggunakan mikroskop optic Olympus dengan perbesaran 100x dan 200x. Selain itu pengambilan gambar struktur mikro juga dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope*. Berikut hasil strukturmikro pada material stainless steel AISI 316L investment casting dan merk Synthes.

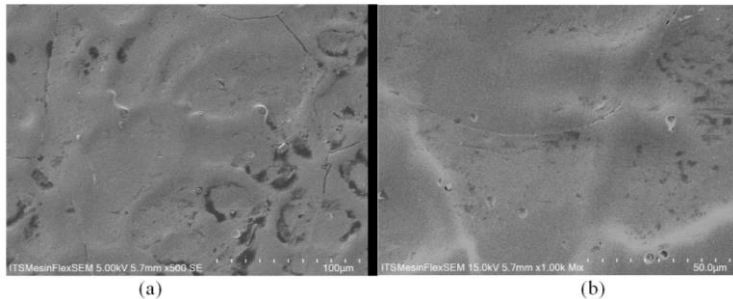


Gambar 3.11 Struktur mikro *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting* sebelum di *cryogenic quenching* (a) perbesaran 100x dan (b) perbesaran 200x

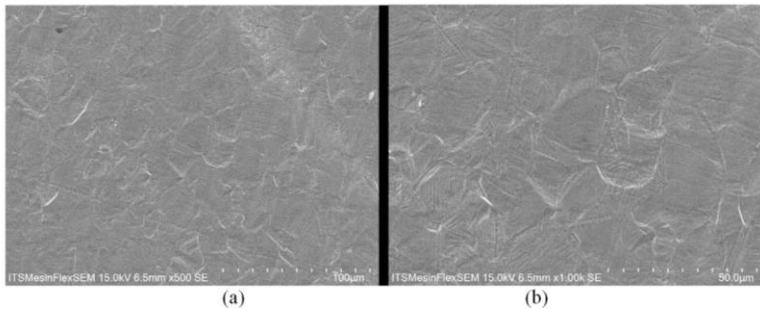


Gambar 3.12 Struktur mikro Stainless steel AISI 316L produk Synthes (a) perbesaran 100x dan (b) perbesaran 200x

Sedangkan hasil dari pengujian SEM dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 3.13 Hasil pengujian SEM *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting* sebelum di *cryogenic quenching* dengan (a) perbesaran 500x dan (b) perbesaran 1000x

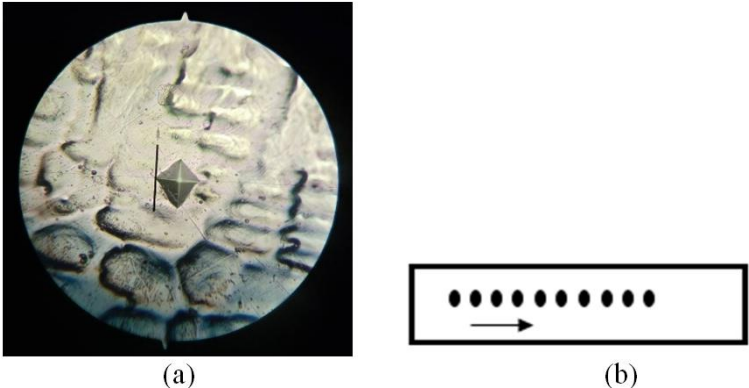


Gambar 3.14 (a). Hasil pengujian SEM *Stainless steel* AISI 316L produk Synthes dengan perbesaran 500x dan (b) perbesaran 1000x

Dari hasil pengujian metalografi yang telah dilakukan, pada material *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting* memiliki rata-rata ukuran butir sebesar 216,98 μm . Ukuran butir ini lebih besar dari ukuran butir pada material *stainless steel* 316L merk Synthes yang memiliki rata-rata ukuran butir sebesar 32,11 μm .

3.5.2 Data Awal Pengujian Kekerasan

Pengujian awal kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan pada material *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting* dan merk Synthes. Pengujian menggunakan metode *microhardness* dengan pembebanan 0,3 HV. Berikut data awal pengujian kekerasan pada material *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting* dan material *stainless steel* AISI 316L produk Synthes:



Gambar 3.15 Gambar 3.15 (a) Hasil indentasi *stainless steel* 316L hasil *investment casting* dan (b) Posisi Indentasi Pada Uji Microhardness *stainless steel* 316L hasil *investment casting*

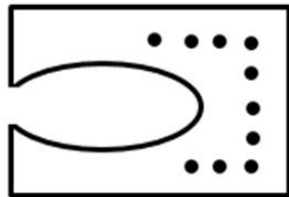
Tabel 3.1 Data Awal Pengujian Kekerasan Hasil *Investment Casting*

Titik ke- n	Nilai kekerasan (HV)	Rata-rata kekerasan (HV)	Standar Deviasi
1	143	144,5	7,1
2	141		
3	138		
4	155		
5	136		

6	152		
7	149		
8	141		
9	137		
10	153		



(a)



(b)

Gambar 3.16 (a) Hasil indentasi *stainless steel* 316L merk Synthes dan (b) Posisi Indentasi Pada Uji Microhardness *stainless steel* 316L merk Synthes

Tabel 3.2 Data awal hasil pengujian kekerasan merk Synthes

Titik ke-n	Nilai kekerasan (HV)	Rata-rata kekerasan (HV)	Standar Deviasi
1	420	416,3	9,3
2	409		
3	429		
4	427		
5	430		
6	408		
7	410		
8	406		
9	413		
10	411		

Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh rata-rata kekerasan pada material *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting* sebesar 144,5 HV. Sedangkan material *stainless steel* 316L merk Synthes memiliki rata-rata kekerasan sebesar 416,3 HV. Kekerasan pada material merk Synthes jauh lebih tinggi daripada material hasil *investment casting*.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan material *stainless steel* AISI 316L hasil dari proses *investment casting* yang diperoleh dari PT Pelopor Teknologi Implantindo, Mojokerto. Proses dilakukan dengan pemanasan pada temperatur *annealing solution treatment* diatas 1000° C dan ditahan selama 2 jam, setelah itu di *quenching* menggunakan nitrogen cair. Temperatur *annealing solution treatment* yang digunakan berbeda-beda pada setiap spesimen, yaitu temperatur 1050° C, 1100° C, 1150° C dan 1200° C. Proses ini bertujuan untuk mencari pengaruh temperatur *annealing solution treatment* dengan *cryogenic quenching* yang dapat menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan dengan butiran awal dari material *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting*. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian komposisi kimia untuk mengetahui kesesuaian dengan standar yang ada, pengamatan struktur mikro melalui teknik metalografi, dan pengujian *microhardness* untuk mengetahui sifat mekaniknya.

4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang ada pada material *stainless steel* AISI 316L kemudian dibandingkan dengan standar ASTM F138-13a. Alat yang digunakan untuk pengujian ini yaitu spektrometer SPECTROMAXx arc spark OES metal analyzer benchtop dari Ametex, Jerman milik PT. Pelopor Teknologi Implantindo. Hasil pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Tabel 4.1 Komposisi Kimia Hasil Uji *Spectrometer*

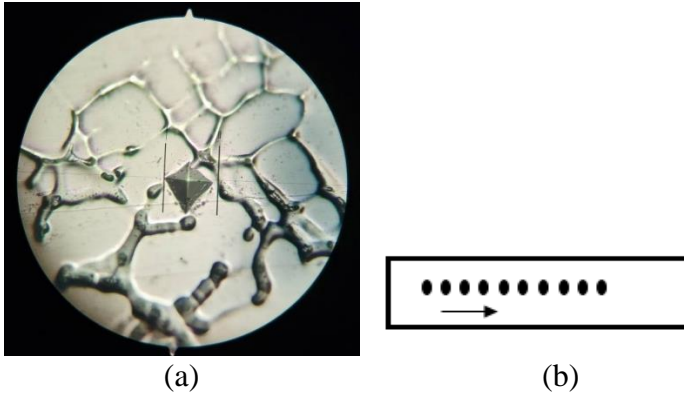
Unsur	Komposisi kimia (% wt)	
	ASTM F138-13a (untuk 316L implant)	<i>Stainless steel 316L</i>
C	0.03	0.0091
Mn	2.00	0.910
P	0.025	0.0235
S	0.01	0.0044
Cr	17.00-19.00	15.75
Ni	13.00-15.00	13.49
Mo	2.25-3.00	3.72
N	0.1	0.139
Cu	0.5	0.117
Fe	Balance	65.1

Dari data uji komposisi kimia yang diperoleh menunjukkan bahwa komposisi kimia dari *stainless steel* AISI 316L masih di bawah standar biomaterial ASTM F138-13a yaitu kadar kromium kurang dari 17 wt%. Dari hasil pengujian didapatkan kadar kromium hanya sebesar 15.75 wt%. Hal ini berpengaruh pada kekuatan material dan sifat ketahanan korosi dari material *stainless steel* AISI 316L karena kromium memiliki peranan penting dalam meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan korosi.

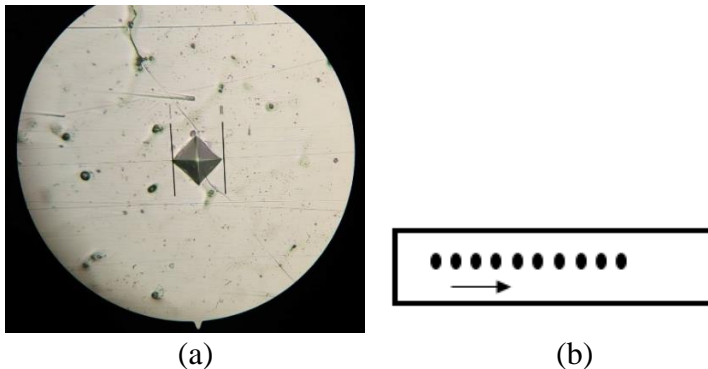
4.2 Hasil Pengujian *Microhardness*

Pengujian *microhardness* dilakukan untuk mengetahui kekerasan pada spesimen *stainless steel* AISI 316L yang telah di *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050° C, 1100° C, 1150° C dan 1200° C. Pengujian dilakukan sebanyak 10 titik disetiap spesimen dengan pembebanan

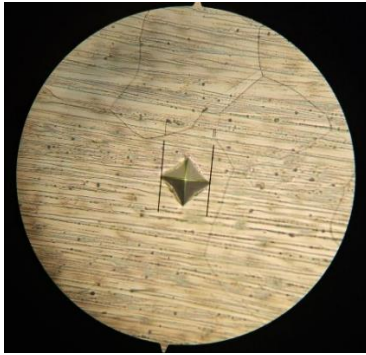
sebesar 0.3 HV. Berikut hasil dari pengujian *mikrohardness* pada masing-masing spesimen.



Gambar 4.1 (a) Hasil indentasi spesimen *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050° C dan (b) Posisi indentasi spesimen *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050° C



Gambar 4.2 (a) Hasil indentasi spesimen *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1100° C dan (b) Posisi indentasi spesimen *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1100° C

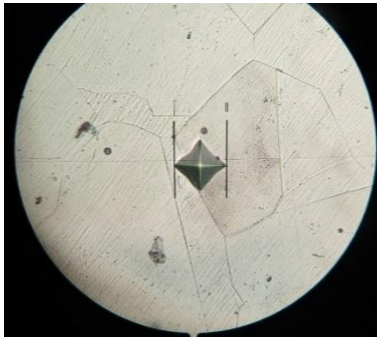


(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Hasil indentasi spesimen *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1150° C dan (b) Posisi indentasi spesimen *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1150° C



(a)



(b)

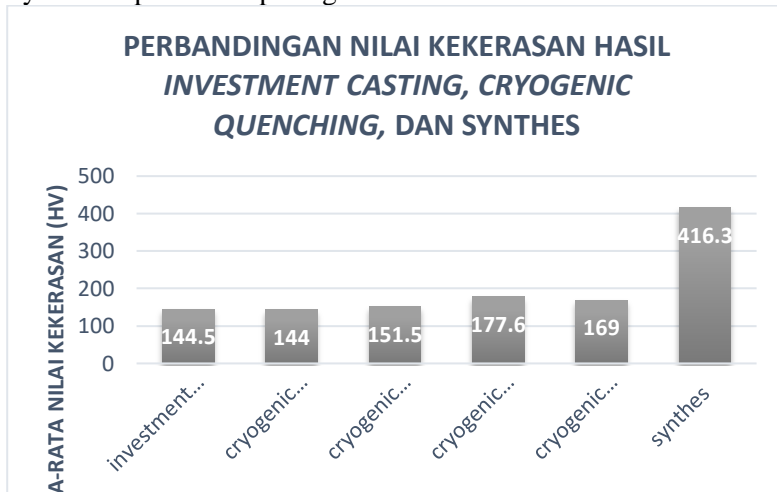
Gambar 4.4 (a) Hasil indentasi spesimen *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1200° C dan (b) Posisi indentasi spesimen *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1200° C

Tabel 4.2 Hasil Uji *Micro Vickers Hardness Cryogenic Quenching* Dengan Temperatur *Annealing Solution Treatment* 1050° C, 1100° C, 1150° C dan 1200° C

Titik ke- n	Nilai kekerasa n T 1050 C (HV)	Nilai kekerasa n T 1100 C (HV)	Nilai kekerasa n T 1150 C (HV)	Nilai kekerasa n T 1200 C (HV)
1	140	150	173	178
2	142	154	182	169
3	152	144	186	173
4	146	149	176	166
5	143	156	189	173
6	137	153	176	170
7	144	149	186	164
8	147	149	167	162
9	136	156	171	169
10	153	155	170	166
Rata-rata kekerasan	144	155,5	177,6	169
Standar Deviasi	5,7	3,9	7,7	4,8

Dari hasil penelitian diperoleh nilai kekerasan pada masing-masing spesimen. Pada spesimen *stainless steel* AISI 316L setelah di *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050° C memiliki kekerasan paling kecil dengan perbedaan yang tidak jauh dengan spesimen hasil *investment casting*. Sedangkan kekerasan paling tinggi pada spesimen *stainless steel* AISI 316L dengan temperatur *annealing solution treatment* 1150° C yaitu sebesar 177,6 HV. Perbandingan kekerasan antara *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting*

yang di *cryogenic quenching* dan *stainless steel* AISI 316L merk Synthes dapat dilihat pada grafik dibawah.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Hasil Kekerasan *Stainless Steel* AISI 316L Hasil *Investment casting*, *Cryogenic quenching* dan *Stainless Steel* AISI 316L Merk Synthes

Dilihat pada grafik, nilai kekerasan cenderung naik pada spesimen *stainless steel* AISI 316L yang di *cryogenic quenching*. Pada temperatur *annealing solution treatment* 1050° C tidak terjadi perubahan. Tetapi pada temperatur diatas 1050° C kekerasan mengalami peningkatan dari spesimen hasil *investment casting*. Peningkatan kekerasan disebabkan adanya mikro presipitat yang terbentuk karena pendinginan super jenuh. Jika dibandingkan, spesimen *cryogenic quenching* yang di *annealing solution treatment* pada temperatur 1150° C memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi daripada temperatur yang lain. Sedangkan pada temperatur *annealing solution treatment* 1200° C nilai kekerasannya menurun dari spesimen dengan temperatur 1150° C tapi penurunannya tidak terlalu jauh. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur 1150° C merupakan temperatur *annealing solution treatment* optimal untuk meningkatkan kekerasan. Dengan adanya

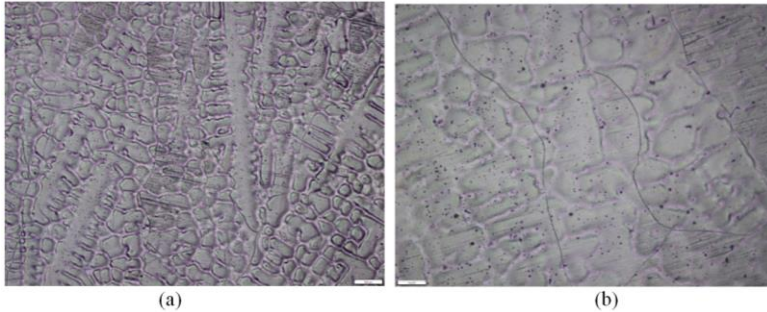
peningkatan nilai kekerasan, dapat dikatakan bahwa *annealing solution treatment* dengan *cryogenic quenching* dapat memperbaiki sifat mekanik AISI 316L meskipun nilai kekerasannya masih berbeda jauh dengan spesimen *stainless steel* 316L merk Synthes karena ukuran butir yang dimiliki Synthes juga sangat kecil. Perbedaan nilai kekerasan yang sangat signifikan ini terjadi karena proses pembuatan AISI 316L merk Synthes dilakukan dengan *forging* serta *machining*.

4.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat bentuk dan ukuran butir pada spesimen *stainless steel* AISI 316L. Pengukuran butiran dilakukan sesuai dengan standar ASTM E112-12. Spesimen yang disiapkan untuk pengamatan struktur mikro ada 4 spesimen yaitu spesimen yang telah di *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050° C, 1100° C, 1150° C dan 1200° C. Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optic Olympus dengan perbesaran 100x, 200x, dan 500x. Selain itu pengambilan gambar struktur mikro juga dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* untuk memperjelas batas butir yang ada pada setiap spesimen. Berikut hasil dari struktur mikro pada masing-masing spesimen.

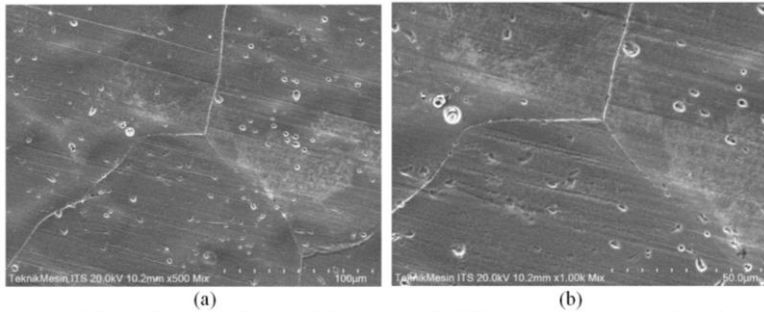
4.3.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Spesimen Cryogenic Quenching Dengan Temperatur *Annealing Solution Treatment* 1050° C

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada spesimen *stainless steel* AISI 316L yang di *annealing solution treatment* pada temperatur 1050° C dengan waktu penahanan selama 2 jam. Setelah itu, spesimen didinginkan secara cepat menggunakan nitrogen cair. Berikut gambar struktur mikro yang diambil menggunakan mikroskop optic Olympus:



Gambar 4.6 Mikrostruktur pada *stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050° C perbesaran (a) 100x dan (b) 200x

Pengambilan gambar mikrostruktur juga dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope*. Berikut hasil mikrostruktur dari *Scanning Electron Microscope* :



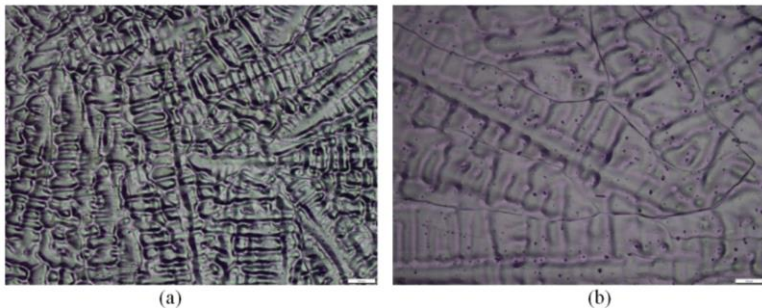
Gambar 4.7 (a). Hasil pengujian SEM *Stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050° C perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x

Dari hasil pengamatan mikrostruktur yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa spesimen *stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050° C memiliki rata-rata ukuran butir sebesar 189,34 μm . Rata-rata ukuran butir pada spesimen ini lebih kecil

dibandingkan dengan spesimen hasil *investment casting* yang memiliki rata-rata ukuran butir sebesar 216,98 μm . Tetapi dari pengamatan gambar 4.6 menunjukkan perbedaan ukuran butir yang tidak terlalu signifikan antara spesimen *stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* yang di *annealing solution treatment* pada temperatur 1050°C dengan spesimen *investment casting*.

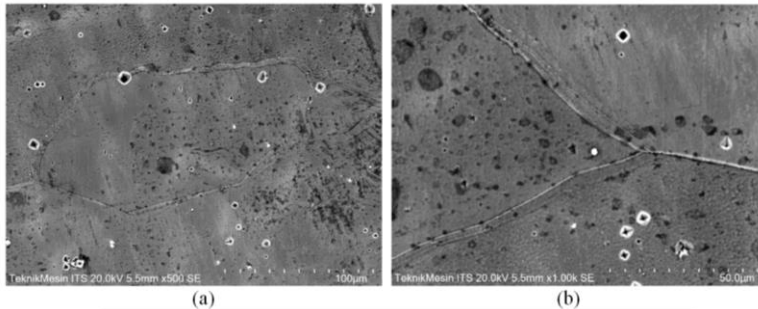
4.3.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Spesimen *Cryogenic Quenching* Dengan Temperatur *Annealing Solution Treatment* 1100° C

Pengamatan strukturmikro dilakukan pada spesimen *stainless steel* AISI 316L yang di *annealing solution treatment* pada temperatur 1100° C dengan waktu penahanan 2 jam setelah itu didinginkan secara cepat menggunakan nitrogen cair. Berikut gambar struktur mikro yang diambil menggunakan mikroskop optic Olympus:



Gambar 4.8 Mikrostruktur pada *stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1100°C perbesaran (a) 100x dan (b) 200x

Pengambilan gambar mikrostruktur juga dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope*. Berikut hasil mikrostruktur dari *Scanning Electron Microscope* :

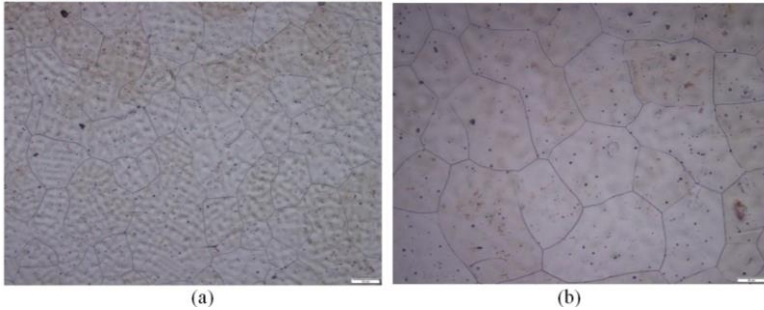


Gambar 4.9 Hasil pengujian SEM *Stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1100° C perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x

Dari pengamatan mikrostruktur yang telah dilakukan pada spesimen *stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1100° C menunjukkan bahwa terjadi pengecilan ukuran butir. Rata-rata ukuran butir pada spesimen ini memiliki rata-rata ukuran sebesar 166,59 µm. Jika dibandingkan, rata-rata ukuran butir pada spesimen ini lebih kecil dari temperatur *annealing solution treatment* 1050° C.

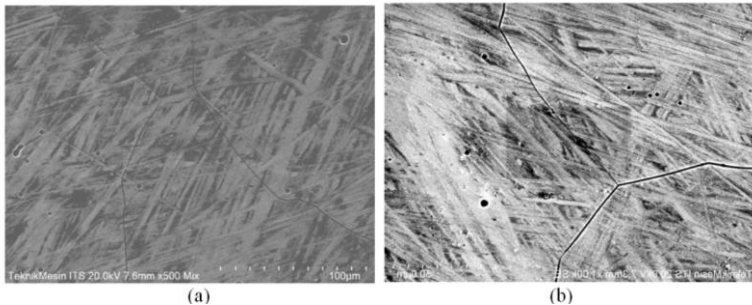
4.3.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Spesimen *Cryogenic Quenching* Dengan Temperatur *Annealing Solution Treatment* 1150° C

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada spesimen *stainless steel* AISI 316L yang di *annealing solution treatment* pada temperatur 1150° C dengan penahanan selama 2 jam. Kemudian spesimen didinginkan secara cepat menggunakan nitrogen cair. Berikut gambar struktur mikro yang diambil menggunakan mikroskop optic Olympus:



Gambar 4.10 Mikrostruktur pada *stainless steel* 316L *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1150° C perbesaran (a) 100x dan (b) 200x

Pengambilan gambar mikrostruktur juga dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope*. Berikut hasil mikrostruktur dari *Scanning Electron Microscope* :



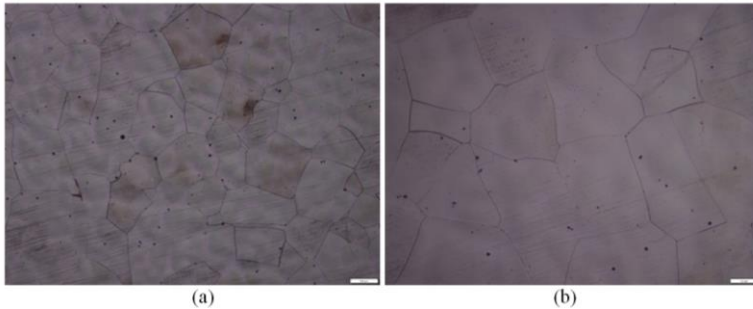
Gambar 4.11 (a). Hasil pengujian SEM *Stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1150° C perbesaran (s) 500x dan (b) 1000x

Dari hasil pengamatan mikrostruktur diperoleh bahwa spesimen *stainless steel* AISI 316L yang sudah di *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1150° C memiliki rata-rata ukuran butir sebesar 129,73 μm . Bentuk butiran pada spesimen ini lebih bulat dan homogen dibandingkan spesimen yang lain. Ukuran butir yang dihasilkan memiliki ukuran

yang jauh lebih kecil daripada ukuran butir pada spesimen *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050° C dan 1100° C.

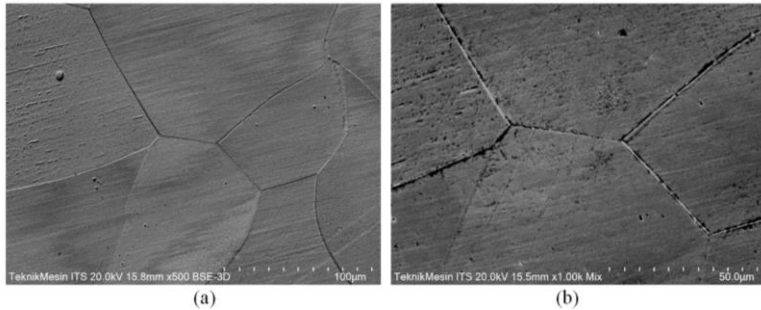
4.3.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Spesimen *Cryogenic Quenching* Dengan Temperatur *Annealing Solution Treatment* 1200° C

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada specimen stainless steel 316L yang sudah di *annealing solution treatment* pada temperatur 1200° C dengan penahanan selama 2 jam. Kemudian spesimen didinginkan secara cepat menggunakan nitrogen cair. Berikut gambar struktur mikro yang diambil menggunakan mikroskop optic Olympus:



Gambar 4.12 Mikrostruktur pada *stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1200° C perbesaran (a) 100x dan (b) 200x

Pengambilan gambar mikrostruktur juga dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope*. Berikut hasil mikrostruktur dari *Scanning Electron Microscope* :



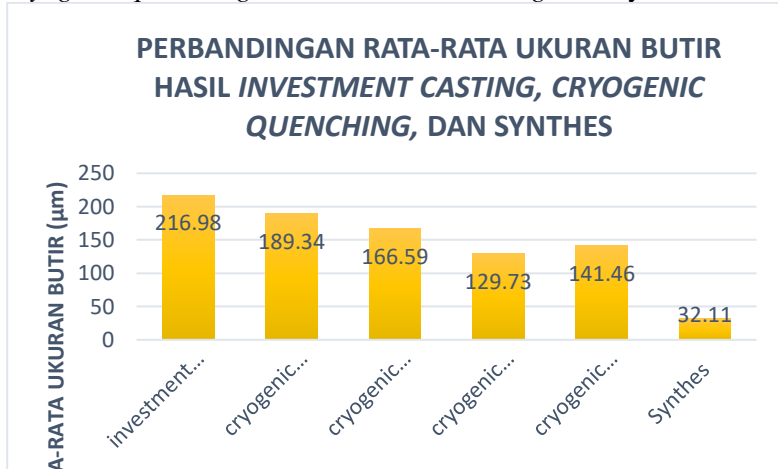
Gambar 4.13 (a). Hasil pengujian SEM *Stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1150°C perbesaran (a) 500x dan (b) 1000x

Dari hasil pengamatan mikrostruktur yang sudah dilakukan pada spesimen *stainless steel* AISI 316L *cryogenic quenching* yang di *annealing solution treatment* pada temperatur 1200°C memiliki rata-rata ukuran sebesar 141,46 μm . Ukuran butir ini lebih besar dibandingkan ukuran butir pada spesimen dengan temperatur *annealing solution treatment* 1150° C tetapi perbedaannya tidak terlalu signifikan. Meskipun rata-rata ukuran butir dari spesimen *cryogenic quenching* dengan temperatur 1200° C lebih besar dari temperatur 1150° C, tetapi rata-rata ukuran butir ini lebih kecil dari temperatur *annealing solution treatment* 1050° C, 1100° C maupun spesimen *investment casting*.

4.3.5 Ringkasan Analisis Struktur Mikro

Proses *annealing solution treatment* dilakukan pada temperatur 1050°C, 1100°C, 1150°C, dan 1200°C bertujuan untuk melarutkan kembali semua karbida dan menjadikan material lebih homogen karena pada material hasil *investment casting* memiliki struktur mikro dendritik. Setelah di *annealing solution treatment*, material di *quenching* menggunakan nitrogen cair agar diperoleh pendinginan super cepat. Pendinginan super cepat pada *stainless steel* AISI 316L dapat mempengaruhi bentuk dan ukuran butir. Butiran AISI 316L berubah bentuk menjadi butiran angular dan

tidak lagi memiliki karakter dendritik. Pada proses *cryogenic quenching* tidak terjadi rekristalisasi, karena rekristalisasi hanya bisa terjadi jika ada deformasi plastis sebelum pemanasan. Berikut grafik perbandingan ukuran butir antara spesimen yang sudah di *cryogenic quenching*, hasil *investment casting*, dan Synthes.



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Hasil Ukuran Butir pada *Stainless Steel* AISI 316L Hasil *Investment casting*, *Cryogenic quenching* dan *Stainless Steel* AISI 316L Merk Synthes

Dilihat pada grafik, rata-rata ukuran butir cenderung mengecil dari rata-rata ukuran butir hasil *investment casting*. Spesimen yang telah di *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* 1050° C, 1100° C, 1150° C dan 1200° C memiliki rata-rata ukuran butir masing-masing sebesar 189,34 μm, 166,59 μm, 129,73 μm dan 141,46 μm. Rata-rata ukuran butir pada spesimen dengan temperatur 1050° C dan 1100° C hasilnya tidak terpaut jauh. Sedangkan spesimen dengan temperatur 1150° C memiliki rata-rata ukuran butir paling kecil. Jika dibandingkan, pada spesimen yang telah di *cryogenic quenching* rata-rata ukuran butirnya lebih kecil dari spesimen hasil *investment casting* yang

memiliki rata-rata ukuran butir sebesar 216,98 μm . Hal ini disebabkan larutnya kembali karbida ke dalam butiran dan adanya perubahan struktur butir dari dendritik *columnar* ke *angular* atau *spherical*. Pada temperatur *annealing solution treatment* 1200° C, rata-rata ukuran butirnya menjadi lebih besar dibanding butiran pada temperatur 1150° C. Membesarnya butiran pada temperatur 1200° C ini sebanding dengan data kekerasan yang diperoleh dimana kekerasan pada temperatur tersebut menurun dari temperatur 1150° C. Dengan ukuran butir yang semakin kecil membuktikan bahwa *annealing solution treatment* dengan *cryogenic quenching* dapat memperhalus butiran pada material *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting*. Tetapi hasil yang diperoleh masih terpaut jauh dengan ukuran butir dari material merk *synthes*, hal ini disebabkan proses pembuatan AISI 316L merk *synthes* yang berbeda dengan AISI 316L lokal yang diperoleh dari proses *investment casting*.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan mengenai pengaruh temperatur *annealing solution treatment* dengan *cryogenic quenching* pada *stainless steel* AISI 316L hasil *investment casting* yaitu:

1. Pada *stainless steel* AISI 316L yang telah di *cryogenic quenching* nilai kekerasan cenderung naik seiring dengan naiknya temperatur *annealing solution treatment* dibandingkan hasil *investment casting*. Hal ini disebabkan terbentuknya mikro presipitat karbida halus setelah di *cryogenic quenching*.
2. Rata-rata ukuran butir pada *stainless steel* AISI 316L yang telah di *cryogenic quenching* dengan temperatur *annealing solution treatment* yang tinggi memiliki ukuran butir lebih kecil dari spesimen hasil *investment casting* yang memiliki rata-rata ukuran butir sebesar 216,98 μm . Pengecilan butiran disebabkan karena perubahan struktur butir dari dendritik *columnar* ke *angular*.
3. Temperatur *annealing solution treatment* 1150° C merupakan temperatur optimal karena memiliki rata-rata ukuran butir paling kecil yaitu sebesar 129,73 μm dan terjadi kenaikan kekerasan paling tinggi dari nilai kekerasan spesimen hasil *investment casting* yaitu sebesar 144,5 HV menjadi 177,6 HV.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian didapat beberapa saran agar diperoleh informasi yang lebih komprehensif yaitu:

1. Diperlukan pemberian deformasi sebelum dilakukan proses *annealing solution treatment* agar dapat memicu proses rekristalisasi butiran.


2. Diperlukan *treatment* lanjutan yaitu proses *tempering* atau *thermal cycling* pada hasil *cryogenic quenching* dengan temperatur pemanasan 1150° C dan 1200° C agar diperoleh hasil yang lebih maksimal

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cahyanto, Arief. 2009. Makalah Biomaterial. Bandung: Universitas Padjajaran.
- [2] Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2013. Riset Kesehatan Dasar. Jakarta : Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- [3] Hidayat, Nanang. 2012. Sintesis Dan Karakterisasi Sifat Makroskopik Nano- Komposit Hidroksiapit/Kitosan (n-Hap/CS) Untuk Aplikasi Tulang. Surabaya: Universitas Airlangga.
- [4] Hidayat, Tofik., Lagiyono, Suswoyo, B. 2011. Pengaruh Media Kapur Pada Proses Tempering Terhadap Sifat mekanik Poros S45C. Semarang: Universitas Wahid Hasyim.
- [5] Umardhani, Yusuf., Suprihanto, A., 2013. Pengembangan Metode Peningkatan Kekerasan Baja Tahan Karat AISI Lewat Proses Nitridasi Gas Temperatur Tinggi. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [6] Noorisa, Riswanda., Apriliawati, D., Aziz, Abdul., Bayu, S. 2017. *The Characteristic of Patients With Femoral Fracture*. Surabaya: Departement of Orthopedic and Traumatology RSUD DR. Soetomo.
- [7] Adri., Masnur, Dedy. 2016. Studi kekerasan Permukaan Produk *Investment Casting* Aluminium Minuman kaleng Bekas Dengan Parameter Temperatur Tuang dan Ukuran Butir Lempung. Riau: Universitas Riau.
- [8] Suherman, Koko,. 2008. Pembuatan cetakan Untuk *Wax pattern* Pada *Investment casting* Sudu Runner Turbin francis. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- [9] Alvarado, j., Maldonado,R., Marxuach, J., and otero, R. 2003. *Biomechanics of Hip and Knee Prostheses, Application of Engineering Mechanics in Medicine*, GED. University of Puerto Rico Mayaguez.
- [10] Perdana, Pengky. 2008. Pengaruh *Quenching* Terhadap Karakteristik Mekanis dan Ketahanan Korosi Pada Material Super Duplex UNS S32750 Lasan. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [11] Hafiz, Ikmal., Widjijono, W., Heparis, M., 2016. Penentuan Kosentrasi *Stainless Steel* 316L dan Kobalt Kromium remanium GM-800 Pada Uji GPMT. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- [12] Kalpakjian, Serope. 1984. *Manufacturing Process for Engineering Materials*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- [13] Mohd, N., Rasol, S., Kaleem, Nasren., 2012. Material Characterization of 316L Stainless Steel After Being Subjected To Cryogenic Treatment. India: B.S.Abdur Rahman University.
- [14] Avner S. H. 1974. Introduction to Physical Metallurgy. Inggris: McGraw-Hill Book Company (UK) Ltd.
- [15] Kumar, B.R., Mahato, B., Sharma, S. and Sahu, J.K. 2009. Effect of Cyclic Thermal Process on Ultrafine Grain Formation in AISI 304L Austenitic *Stainless steel*. *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 40A, pp. 3226-3234.
- [16] ASTM F138-13a. 2013. Standard Specification for Wrought 18Chromium-14Nickel-2.5Molybdenum *Stainless steel* Bar and Wire for Surgical Implants (UNS S31673). United States: Association of Standard Testing Materials.

LAMPIRAN




**PELOPOR TEKNOLOGI
IMPLANTINDO**

Desa Cinandang, Kec. Dawar Blandong, Kab. Mojokerto

+62812311374

pelopor_ti@yahoo.com



Measure Date Time	Recalculation Date Time	Method Name
7/9/2018 2:44:11 PM	7/9/2018 2:44:11 PM	Fe-30-F

Sample Name	Sample Id	Furnace	Inspector	Quasi.
Sample 316L Zenith 2			Ang	AISI 316L

Elements Conc.

Meas.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
	%	%	%	%	%	%	%
	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.
1	0.0091	0.445	0.910	0.0235	0.0044	15.75	3.72
W. Min						16.00	2.00
<g>	0.0091	0.445	0.910	0.0235	0.0044	15.75 -	3.72 +
W. Max	0.0300	0.750		0.0450	0.0300	18.00	3.00

Meas.	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V
	%	%	%	%	%	%	%
	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.
1	13.49	<0.00100	0.0888	0.117	0.0057	0.0023	0.0795
W. Min	10.00						
<g>	13.49	<0.00100	0.0888	0.117	0.0057	0.0023	0.0795
W. Max	14.00						

Meas.	W	Pb	Sn	As	Ca	Sb	Se
	%	%	%	%	%	%	%
	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.
1	0.0081	0.0497	0.0123	<0.0020	0.00089	0.0298	0.0113
<g>	0.0081	0.0497	0.0123	<0.0020	0.00089	0.0298	0.0113

Meas.	Ta	B	N	Fe		
	%	%	%	%		
	Conc.	Conc.	Conc.	Conc.		
1	<0.0200	0.0012	0.139	65.1		
<g>	<0.0200	0.0012	0.139	65.1		

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Zuli Ainun Zariyah, lahir di Mojokerto pada tanggal 23 Juli 1995. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Jama'adi dan Suliasih. Pendidikan formal penulis dimulai tahun 2002 di SDN Sumolawang, kemudian dilanjutkan SMP Negeri 4 Kota Mojokerto. Setelah lulus SMP tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan SMAnyanya di SMAN 1 Puri Mojokerto.

Setelah lulus SMA, pada tahun 2014 penulis memutuskan melanjutkan studinya di jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Selama kuliah penulis pernah menjadi pengurus himpunan sebagai Kabiro Inventarisasi dan Pendelegasian Departemen UMUM. Selain itu juga pernah menjadi pengurus UKM Sepakbola ITS Tahun 2016/2017. Atas kehendak Allah SWT pada tahun 2019 dapat menyelesaikan studinya di Teknik Mesin ITS.

zuliainun@gmail.com